2^{η} Σειρά Ασκήσεων: Θεμελιώδεις αρχές της σύγχρονης Χημείας

Σύνοψη Θεωρίας

Στην ενότητα της θεωρίας είδατε ότι οι νόμοι της κλασικής φυσικής δεν εφαρμόζονται στα υποατομικά σωματίδια και πλέον γνωρίζετε ότι οι έννοιες του κύματος και του σωματιδίου συνενώνονται, σε αυτό που αποκαλείται κυματοσωματιδιακός δυϊσμός. Μάθατε ότι μια από τις συνέπειες αυτής της συνένωσης είναι η αδυναμία προσδιορισμού της τροχιάς ενός σωματιδίου με αυθαίρετη ακρίβεια. Αντίθετα, τώρα γνωρίζετε ότι η θέση και οι ιδιότητες ενός σωματιδίου εκφράζονται από μια κυματοσυνάρτηση, το τετράγωνο της οποίας, εκφράζει την πιθανότητα εύρεσης του σωματιδίου σε κάθε περιοχή του χώρου. Γνωρίζετε επίσης ότι η κυματοσυνάρτηση βρίσκεται με επίλυση της εξίσωσης Schrödinger. Τέλος, μια συνέπεια του γεγονότος ότι η κυματοσυνάρτηση πρέπει να περιοριστεί σε μια περιοχή του χώρου, είναι ότι το σωματίδιο που περιορίζεται στο χώρο αυτό μπορεί να έχει μόνο συγκεκριμένες διακριτές ενέργειες.

Δεξιότητες που θα αποκτήσετε δια μέσου των ασκήσεων

- Να υπολογίζετε το μήκος κύματος ή τη συχνότητα μιας ακτινοβολίας από τη σχέση $\lambda \cdot \nu = c$ (Παράδειγμα 1)
- Να εξηγείτε την προέλευση των φασματικών γραμμών ενός στοιχείου και να την συσχετίζεται με συγκεκριμένες μεταπτώσεις (Παράδειγμα 2)
- Να χρησιμοποιείτε την σχέση $E=h\cdot\nu$ για να υπολογίζετε την ενέργεια, τη συχνότητα ή τον αριθμό των φωτονίων που εκπέμπονται από μια πηγή ακτινοβολίας (Παράδειγμα 3)
- Να υπολογίζετε το μήκος κύματος ενός σωματιδίου (Παράδειγμα 4)
- Να υπολογίζετε την αβεβαιότητα στη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου (Παράδειγμα 5)

Λυμένα Παραδείγματα

Παράδειγμα 1: Υπολογισμός του μήκους κύματος ακτινοβολίας γνωστής συχνότητας

Ποιου χρώματος φως έχει το μικρότερο μήκος κύματος, το κόκκινο φως με συχνότητα 4.3×10^{14} Hz ή το μπλε φως με συχνότητα 6.4×10^{14} Hz; Δίνεται η ταχύτητα διάδοσης του φωτός $c=2.998\times 10^{8}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

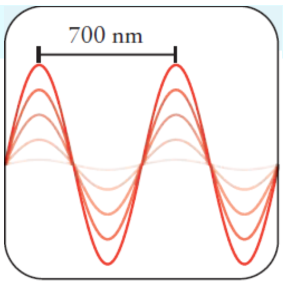
Τι αναμένουμε: Επειδή κύματα με μεγάλο μήκος κύματος αντιστοιχούν σε λιγότερες ταλαντώσεις καθώς διέρχονται από ένα σημείο, αυτά θα συνδέονται με μικρότερες συχνότητες. Συνεπώς, επειδή το κόκκινο φως έχει χαμηλότερη συχνότητα από το μπλε φως, αναμένουμε να έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος.

Στρατηγική: Χρησιμοποιήστε την εξίσωση $\lambda \times \nu = c$ για να υπολογίσετε τα μήκη κύματος

Επίλυση

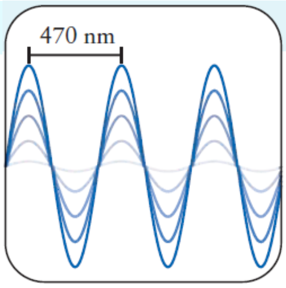
Για το κόκκινο φως: από $\lambda \times \nu = c$ έχουμε $\lambda = {}^{c}/_{\nu}$,

$$\lambda = \frac{2.998 \times 10^{8}\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{4.3 \times 10^{14}\mathrm{s^{-1}}} = \frac{2.998 \times 10^{8}}{4.3 \times 10^{14}}\mathrm{m} = 7.0 \times 10^{-7}\mathrm{m}$$



Για το μπλε φως: από $\lambda \times \nu = c$ έχουμε $\lambda = {}^{c}/_{\nu}$,

$$\lambda = \frac{2.998 \times 10^{8}\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{6.4 \times 10^{14}\mathrm{s^{-1}}} = \frac{2.998 \times 10^{8}}{6.4 \times 10^{14}}\mathrm{m} = 4.7 \times 10^{-7}\mathrm{m}$$



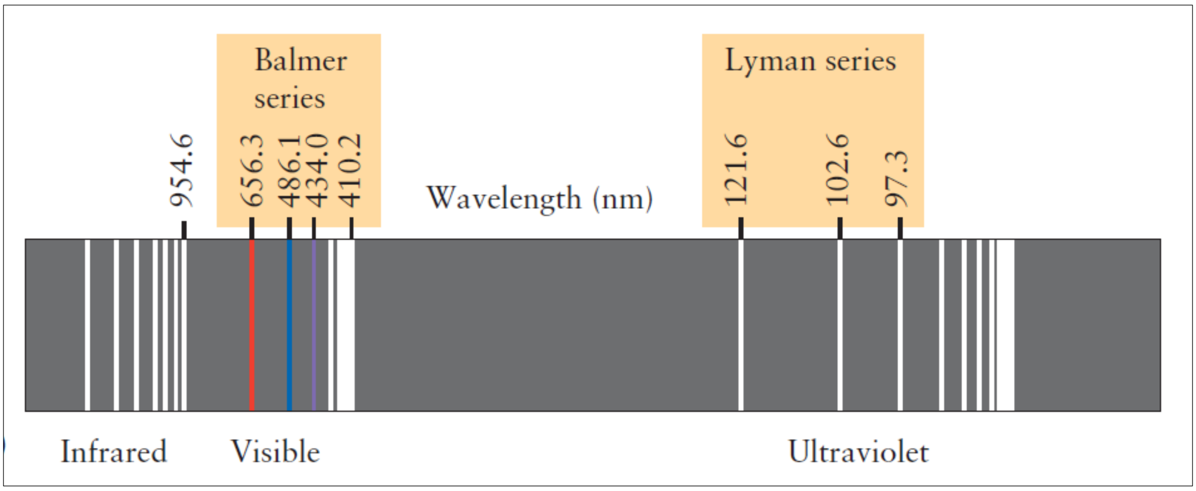
Εκτίμηση αποτελέσματος: Όπως προβλέψαμε, το κόκκινο φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος (700nm) από το μπλε (470nm).

Παράδειγμα 2: Αναγνώριση γραμμής φάσματος του Υδρογόνου

Μπορεί εύκολα να φανταστεί κανείς τον ενθουσιασμό του Rydberg μόλις ανακάλυψε ότι η μαθηματική του σχέση ίσχυε για όλες τις τότε γνωστές γραμμές του φάσματος του ατομικού υδρογόνου.

Υπολογίστε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα άτομο υδρογόνου για n_1=2 και n_2=3. Αναγνωρίστε τη γραμμή του φάσματος στην Εικόνα 1.1. Δίνονται: $\mathcal{R} = 3.29 \times 10^{15}\mathrm{s}^{-1}$ και $c = 2.998 \times 10^{8}\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Εικόνα 1.1: Το πλήρες φάσμα του ατομικού υδρογόνου. Οι γραμμές φάσματος έχουν ομαδοποιηθεί σε σειρές, δύο εκ των οποίων φαίνονται στην εικόνα με την ονομασία τους.



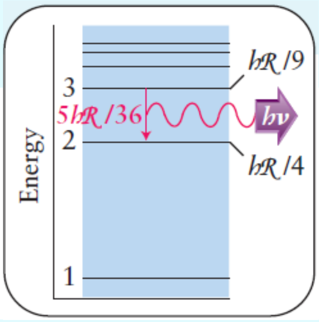
Τι αναμένουμε: Επειδή n_1=2 και n_2=3 το μήκος κύματος θα πρέπει να βρίσκεται στη σειρά Balmer, δηλαδή στο ορατό φάσμα του φωτός.

Στρατηγική: Χρησιμοποιήστε την γενική έκφραση της συχνότητας των φασματικών γραμμών του ατομικού υδρογόνου: $\nu = \mathcal{R}\left\{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right\}$. Στη συνέχεια υπολογίστε το μήκος κύματος από τη συχνότητα με χρήση της γνωστής εξίσωσης $\lambda \times \nu = c$.

Επίλυση

Από τη γενική έκφραση της συχνότητας των φασματικών γραμμών του ατομικού υδρογόνου για n_1=2 και n_2=3, έχουμε:

$$\nu = \mathcal{R}\left\{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right\} = \frac{5}{36}\mathcal{R}$$

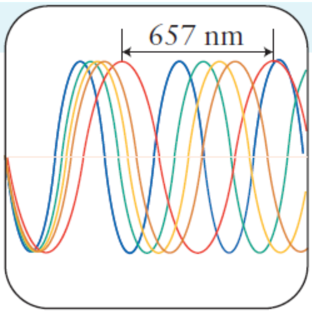


Από την $\lambda \times \nu = c$ έχουμε:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{5\mathcal{R}/_{36}} = \frac{36c}{5\mathcal{R}}$$

Και τώρα, αντικαθιστώντας τα αριθμητικά δεδομένα,

$$\lambda = \frac{36 \times (2.998 \times 10^{8}\mathrm{m \cdot s^{-1}})}{5 \times (3.29 \times 10^{15}\mathrm{s}^{-1})} = 6.57 \times 10^{-7}\mathrm{m} = 657\mathrm{nm}$$



Εκτίμηση αποτελέσματος: Το μήκος κύματος, 657nm, αντιστοιχεί στην κόκκινη γραμμή του φάσματος του υδρογόνου της σειράς Balmer, ακριβώς όπως το αναμέναμε.

Παράδειγμα 3: Υπολογισμός ενέργειας φωτονίου

Πολλές χημικές αντιδράσεις εξελίσσονται εξαιτίας του φωτός. Σκεφτείτε για παράδειγμα τη φωτοσύνθεση για την δημιουργία υδατανθράκων ή τα μαζικά φαινόμενα διάσπασης μορίων που λαμβάνουν χώρα στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Για να καταλάβετε αυτές τις διεργασίες ως μηχανικοί, θα πρέπει να μπορείτε να υπολογίζετε πόση ενέργεια μεταδίδεται σε ένα μόριο όταν ένα φωτόνιο συγκρούεται μαζί του. Παρόμοιοι υπολογισμοί αποτελούν καθημερινή ρουτίνα σε διάφορους κλάδους της Χημείας. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται το χρώμα, η συχνότητα και η ενέργεια ανά φωτόνιο του φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας.

Πίνακας 1.1 Χρώμα, Συχνότητα, Μήκος Κύματος & Ενέργεια ανά φωτόνιο της Η/Μ Ακτινοβολίας

Τύπος Ακτινοβολίας	Συχνότητα (10^{14} Hz)	Μηκος Κύματος (nm, 2 sf)*	Ενέργεια ανά φωτόνιο (10^{-19} J)
Ακτίνες X & Ακτίνες γ	$\geq 10^3$	≤ 3	$\geq 10^3$
Υπεριώδες	8.6	350	5.7
Ορατό			
Ιώδες	7.1	420	4.7
Μπλε	6.4	470	4.2
Πράσινο	5.7	530	3.8
Κίτρινο	5.2	580	3.4
Πορτοκαλί	4.8	620	3.2
Ερυθρό	4.3	700	2.8
Υπέρυθρο	3.0	1000	2.0
Μικροκύματα και ραδιοκύματα	$\leq 10^{-3}$	$\geq 3 \times 10^6$	$\leq 10^{-3}$

Υπολογίστε (α) ποια είναι η ενέργεια ενός φωτονίου μπλε φωτός συχνότητας 6.4×10^{14} Hz και (β) η ενέργεια ανά mole φωτονίων της ίδιας συχνότητας.

Τι αναμένουμε: Από τον Πίνακα 1.1 αναμένουμε ότι η ενέργεια ενός φωτονίου μπλε φωτός θα είναι περίπου ίση με 4×10^{-19} J.

Στρατηγική: Ο Max Planck έδειξε ότι η ανταλλαγή ενέργειας ανάμεσα στην ύλη και την ακτινοβολία λαμβάνει χώρα σε κβάντα, ή πακέτα, ενέργειας. Η ιδέα του ήταν ότι ένα φορτισμένο σωματίδιο που ταλαντώνεται με συχνότητα ν, μπορεί να ανταλλάξει ενέργεια με το περιβάλλον του παράγοντας ή απορροφώντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με διακριτά πακέτα ενέργειας έντασης $E = h \times \nu$, όπου h είναι η σταθερά του Planck με τιμή 6.626×10^{-34} J·s. Αν το ταλαντευόμενο σωματίδιο απελευθερώνει ένα πακέτο ενέργειας έντασης E στο περιβάλλον του, ακτινοβολία έντασης $\nu = {}^{E}/_{h}$ θα ανιχνευθεί.

Συνεπώς, για το (α) θα χρησιμοποιήσετε την σχέση $E = h \times \nu$ για να υπολογίσετε την ενέργεια του φωτός της συγκεκριμένης συχνότητας που δίνεται και στη συνέχεια, για το (β) θα πολλαπλασιάσετε την ενέργεια ενός φωτονίου με τον αριθμό των φωτονίων ανά mole, που είναι η γνωστή σταθερά του Avogadro. Δεν θα πρέπει να σας ξενίζει το γεγονός ότι χρησιμοποιούμε την έννοια του mole για την ακτινοβολία, καθώς βρισκόμαστε πλέον στο πεδίο της κβαντικής μηχανικής, όπου ισχύει ο κυματοσωματιδιακός δυϊσμός.

Επίλυση

(α) Για τον υπολογισμό της ενέργειας E για ένα φωτόνιο έχουμε:

$$E_{(1\ \varphi\omega\tau o\nu \acute{\iota} o\upsilon)} = h \times \nu = (6.626\ \times 10^{-34}\mathrm{J \cdot s}) \times (6.4 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}) = 4.2 \times 10^{-19}\mathrm{J}$$

Στον παραπάνω υπολογισμό χρησιμοποιήσαμε το μετασχηματισμό 1 Hz = 1 s^{-1}, όποτε και η πράξη που έλαβε χώρα ήταν: 1 J·s × 1 Hz = 1 J·s × 1 s^{-1} = 1 J.

(β) Για τον υπολογισμό της ενέργειας E για ένα mole φωτονίων έχουμε:

$$E_{(1\ mole\ \varphi\omega\tau o\nu \acute{\iota} \omega\nu)} = N_A \times E_{(1\ \varphi\omega\tau o\nu \acute{\iota} o\upsilon)} = (6.022 \times 10^{23}\mathrm{mol^{-1}}) \times (4.2 \times 10^{-19}\mathrm{J}) = 2.5 \times 10^{5}\mathrm{J \cdot mol^{-1}}$$

Εκτίμηση αποτελέσματος: Το αποτέλεσμα της ενέργειας για το φωτόνιο μπλε φωτός συμφωνεί με τα δεδομένα του Πίνακα 1.1, ακριβώς όπως αναμέναμε.

Παράδειγμα 4: Υπολογισμός μήκους κύματος ενός σωματιδίου

Υποθέστε ότι είστε ο De Broglie και μόλις έχετε σκεφτεί τη σχέση που συνδέει το μήκος κύματος ενός σωματιδίου με τη γραμμική ορμή του. Ένας φίλος σας καλεί να κοιτάξατε τον κόσμο γύρω σας και να παρατηρήσετε ότι καταφανώς δεν είναι κυματοειδής. Υπό το βάρος αυτής της παρατήρησης σας καλεί να ελέγξετε ξανά τη σχέση που αναπτύξατε γιατί έχει «περίεργες» συνέπειες για τα καθημερινά αντικείμενα που μας περιβάλλουν.

Υπολογίστε το μήκος κύματος ενός σωματιδίου μάζας 1g που κινείται με ταχύτητα $1 \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Τι αναμένουμε: Αν συγκρίνουμε το σωματίδιο μάζας 1g (ή 10^{-3} kg) με τη μάζα ενός υποατομικού σωματιδίου, για παράδειγμα του e^- (9.10938×10^{-31} kg) παρατηρούμε ότι το συγκεκριμένο προς μελέτη σωματίδιο είναι πολύ βαρύτερο. Κατά συνέπεια πρέπει να περιμένουμε ένα πολύ μικρό κύματος.

Στρατηγική: Θα χρησιμοποιήσετε την σχέση De Broglie $\lambda = {}^{h}/_{p} = {}^{h}/_{mv}$ για να υπολογίσετε το μήκος κύματος γνωστής μάζας.

Επίλυση

Από τη σχέση $\lambda = {}^{h}/_{mv}$, έχουμε

$$\lambda = \frac{6.626 \ \times 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}}{(1 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg}) \times (1\,\mathrm{m \cdot s^{-1}})} = \frac{6.626 \ \times 10^{-34}}{1 \times 10^{-3}} \cdot \frac{\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot s}}{\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}} = 7 \times 10^{-31}\mathrm{m}$$

Εκτίμηση αποτελέσματος: Ακριβώς όπως αναμενόταν, το μήκος κύματος είναι πολύ μικρό – στην πραγματικότητα είναι μη ανιχνεύσιμο ακόμη και από τις πιο ευαίσθητες συσκευές που υπάρχουν. Το ίδιο συμπέρασμα ισχύει για οποιοδήποτε μακροσκοπικό αντικείμενο μας περιβάλλει και κινείται σε φυσιολογικές ταχύτητες. Γι' αυτό το λόγο δεν μπορούμε να αντιληφθούμε στα καθημερινά και μεγάλα αντικείμενα που παρατηρούμε την κυματική τους υπόσταση.

Παράδειγμα 5: Εξοικείωση με την Αρχή της Αβεβαιότητας

Σε ποιο βαθμό επηρεάζει η αρχή της αβεβαιότητας κατά Heisenberg την ικανότητα μας να καθορίζουμε τις ιδιότητες των αντικειμένων που παρατηρούμε; Μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για την θέση τους;

Υπολογίστε την ελάχιστη αβεβαιότητα (α) στη θέση ενός βόλου μάζας 1.0 g αν η ταχύτητα του είναι γνωστή με ακρίβεια ± 2.0 $\mathrm{mm \cdot s^{-1}}$ και (β) στην ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου που είναι περιορισμένο στη διάμετρο ενός τυπικού ατόμου (200 pm).

Δίνεται η μάζα του e-, $m_{e^-} = 9.109 \ \times 10^{-31}$ kg και $\hbar = 1.05457 \times 10^{-34}\mathrm{J \cdot s}$.

Τι αναμένουμε: Πρέπει να αναμένετε ότι η αβεβαιότητα στη θέση ενός σώματος με τη μάζα ενός βόλου να είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, η αβεβαιότητα της ταχύτητας ενός ηλεκτρονίου που έχει τόσο μικρή μάζα και είναι περιορισμένη σε τόσο στενό χώρο να είναι εξαιρετικά μεγάλη.

Στρατηγική:

(α) Η αβεβαιότητα Δp είναι ίση με $m \cdot \Delta v$, όπου Δv είναι η αβεβαιότητα στην ταχύτητα. Θα χρησιμοποιήσετε την μαθηματική έκφραση της αρχής της αβεβαιότητας $\Delta p \cdot \Delta x \geq {}^{1}/_{2}\,\hbar$ για να υπολογίσετε την ελάχιστη αβεβαιότητα ως προς τη θέση, Δx, προς τη διεύθυνση της κίνησης του βόλου. Από τη στιγμή που ζητείται η ελάχιστη αβεβαιότητα η μαθηματική έκφραση θα υπολογιστεί ως ισότητα.

(β) Θα υποθέσετε ότι η θέση του ηλεκτρονίου Δx είναι η διάμετρος του ατόμου και θα χρησιμοποιήσετε ξανά την μαθηματική έκφραση της αρχής της αβεβαιότητας για να υπολογίσετε την αβεβαιότητα ως προς την ορμή, Δp. Στην συνέχεια, θα χρησιμοποιήσετε τη μάζα του e^- για να υπολογίσετε την αβεβαιότητα ως προς την ταχύτητα από τη γνωστή ισότητα $\Delta p = m \cdot \Delta v$.

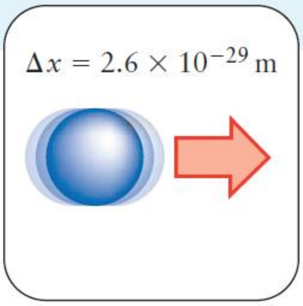
Επίλυση

(α) Αρχικά μετατρέψτε όλα τα δεδομένα σε μονάδες βάσης SI. Η μάζα του βόλου m = 1.0 × 10^{-3} kg και η αβεβαιότητα ως προς την ταχύτητα είναι Δv = 2.0 × (1.0 × 10^{-3} m·s^{-1}) = 2.0 × 10^{-3} m·s^{-1}.

Υπολογίζουμε τώρα την ελάχιστη αβεβαιότητα ως προς τη θέση του βόλου, Δx. Από τις ισότητες $\Delta p \cdot \Delta x = {}^{1}/_{2}\,\hbar$ και $\Delta p = m \cdot \Delta v$, έχουμε:

$$\Delta p \cdot \Delta x = \frac{1}{2}\hbar \Rightarrow m \cdot \Delta v \cdot \Delta x = \frac{\hbar}{2} \Rightarrow \Delta x = \frac{\hbar}{2 \cdot m \cdot \Delta v}$$

Αντικαθιστούμε με όλα τα γνωστά αριθμητικά δεδομένα,



$$\Delta x = \frac{1.05457 \times 10^{-34}\mathrm{J \cdot s}}{2 \times (1.0 \times 10^{-3}\mathrm{kg}) \times (2.0 \times 10^{-3}\mathrm{m \cdot s^{-1}})}$$

$$= \frac{1.05457 \times 10^{-34}}{2 \times 1.0 \times 10^{-3} \times 2.0 \times 10^{-3}} \cdot \frac{\mathrm{J \cdot s}}{\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}}$$

$$= 2.6 \times 10^{-29}\frac{\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot s}}{\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}} = 2.6 \times 10^{-29}\mathrm{m}$$

Εκτίμηση αποτελέσματος: Ακριβώς όπως αναμενόταν η αβεβαιότητα είναι απειροελάχιστα μικρή και κατά συνέπεια μετρήσεις της θέσης ενός κινούμενου βόλου μπορούν να γίνουν και να έχουμε εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα.

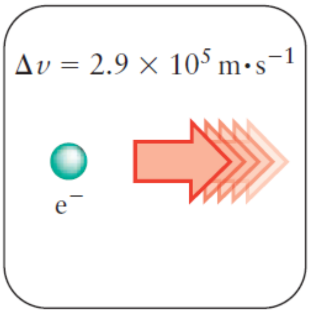
(β) Μετατρέπουμε όλα τα δεδομένα σε μονάδες βάσης SI. Η μάζα του ηλεκτρονίου μας έχει ήδη δοθεί σε μονάδες SI και η διάμετρος του ατόμου είναι 200 pm = 200 × 10^{-12} m = 2 × 10^{-10} m.

Η αβεβαιότητα ως προς την ταχύτητα, Δv, είναι ίση με $\Delta v = {}^{\Delta p}/_{m}$. Έχουμε λοιπόν:

$$\Delta v = \frac{\Delta p}{m} \xrightarrow{\Delta p \cdot \Delta x = \frac{1}{2}\hbar} \Delta v = \frac{\hbar}{2 \cdot m \cdot \Delta x}$$

Αντικαθιστούμε με όλα τα γνωστά αριθμητικά δεδομένα,

$$\Delta v = \frac{1.05457 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}}{2 \times (9.109\ \times 10^{-31}\ \mathrm{kg}) \times (2.00 \times 10^{-10}\mathrm{m})}$$



$$= \frac{1.05457 \times 10^{-34}}{2 \times 9.109\ \times 10^{-31} \times 2.00 \times 10^{-10}} \cdot \frac{\mathrm{J \cdot s}}{\mathrm{kg \cdot m}}$$

$$= 2.90 \times 10^{5}\frac{\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot s}}{\mathrm{kg \cdot m}} = 2.90 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Εκτίμηση αποτελέσματος: Όπως είχαμε αρχικά προβλέψει η αβεβαιότητα στην ταχύτητα του ηλεκτρονίου είναι τεράστια, σχεδόν ±150 km·s^{-1} (!!).

Ασκήσεις προς επίλυση

Σε όλες τις ασκήσεις θεωρούνται γνωστά:

(i) **Σταθερά Rydberg:** $\mathcal{R} = 3.29 \times 10^{15} \mathrm{s}^{-1}$, (ii) **Ταχύτητα διάδοσης του φωτός:** $c = 2.998 \times 10^{8} \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$, (iii) **Μάζα του ηλεκτρόνιου:** $m_{e^-} = 9.109 \times 10^{-31}$ kg, (iv) **h-bar:** $\hbar = 1.05457 \times 10^{-34}\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{s}$.

1. (α) Η συχνότητα του ιώδους φωτός είναι 7.1×10^{14} Hz. Ποιο είναι το μήκος κύματος (σε nm) του ιώδους φωτός;

   (β) Όταν μια δέσμη ηλεκτρονίων προσπίπτει σε ένα κομμάτι χαλκού, εκπέμπονται ακτίνες X με συχνότητα 2.0×10^{18} Hz. Ποιο είναι το μήκος κύματος (σε pm) των εκπεμπόμενων ακτίνων X;

2. (α) Χρησιμοποιήστε τη μαθηματική σχέση του Rydberg για το ατομικό H για να υπολογίσετε το μήκος κύματος ακτινοβολίας που παράγεται από τη μετάβαση από n = 4 σε n = 2.

   (β) Σύμφωνα με την Εικόνα 1.1, σε ποια φασματοσκοπική σειρά αντιστοιχεί αυτή η μετάβαση;

   (γ) Χρησιμοποιήστε τον Πίνακα 1.1. για να προσδιορίσετε την περιοχή του φάσματος στην οποία έλαβε χώρα η συγκεκριμένη μετάβαση. Αν η μετάβαση λαμβάνει χώρα στην ορατή περιοχή του φάσματος, τι χρώματος ακτινοβολία πρέπει να εκπέμπεται;

3. Τα φωτόνια ακτίνων γ που εκπέμπονται από την πυρηνική διάσπαση των ατόμων του Τεχνήτιου-99 και χρησιμοποιούνται σε ραδιοφαρμακευτικές εφαρμογές έχουν ενέργεια 140.511 keV. Υπολογίστε το μήκος κύματος αυτών των ακτίνων γ.

   Δίνεται 1eV = 1.602×10^{-19} J.

4. Η μέση ταχύτητα ενός ατόμου ηλίου στους 25 °C είναι 1.23×10^{3} $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Ποιο είναι το μέσο μήκος κύματος ενός ατόμου ηλίου σε αυτή τη θερμοκρασία;

5. Η αρχή της αβεβαιότητας έχει αμελητέες συνέπειες για μακροσκοπικά αντικείμενα. Παρόλα' αυτά, οι ιδιότητες των νανοσωματιδίων, που έχουν διαστάσεις από λίγα έως μερικές εκατοντάδες νανόμετρα ενδέχεται να είναι διαφορετικές από αυτές μεγαλύτερων σωματιδίων.

   (α) Υπολογίστε την ελάχιστη αβεβαιότητα ως προς την ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου που περιορίζεται από ένα νανοσωματίδιο διαμέτρου 2.00×10^{2} nm.

   (β) Υπολογίστε την ελάχιστη αβεβαιότητα ως προς την ταχύτητα ενός κινούμενου ιόντος Li^+ που περιορίζεται από ένα νανοσωματίδιο παρόμοιας διαμέτρου.

   Δίνεται η μάζα του Li^+, $m_{Li^+} = 1.152 \times 10^{-26}$ kg

6. Η ενέργεια που απαιτείται για να σπάσει ένας δεσμός C – C σε ένα μόριο είναι 348 $\mathrm{kJ \cdot mol^{-1}}$. Μπορεί το ορατό φως να σπάσει αυτό το δεσμό; Αν ναι, τι χρώμα έχει το φως αυτό; Αν όχι, ποιος τύπος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι κατάλληλη για αυτό;

   Συμβουλευτείτε τον Πίνακα 1.1 για τους τύπους ακτινοβολίας.